

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СПОСОБА ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ И ОТКОЛА ОТ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ДОБЫЧЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Н.В. Войтенко, А.С. Юдин, Н.С. Кузнецова

Научный руководитель профессор Г.Е. Ремнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время в горнодобывающей промышленности основным методом разрушения массива горных пород, в том числе и отбойки, является взрывной с использованием химических взрывчатых веществ (ВВ). Современная теория и практика взрывного разрушения направлены на совершенствование существующих приемов, методов, взрывчатых материалов, параметры которых в большинстве случаев находятся на пределе своих технических возможностей. Увеличение интенсивности и однородности дробления достигается путем усовершенствования конструкций зарядов, схем взрыва и выбора наиболее оптимального типа ВВ [1,3]. С учетом достигнутых успехов, коэффициент полезного действия взрыва составляет порядка несколько процентов, при этом ВВ позволяют обеспечить максимальную производительность разрушения в сравнении с другими технологиями и способами разрушения. При добыче полезных ископаемых часто возникает задача дробления негабаритов горных пород, образующихся при проведении буровзрывных работ. Негабаритные куски породы либо не помещаются в зев дробилки для последующего измельчения, либо не подлежат транспортировке из-за массогабаритных параметров. Для их разрушения использование ВВ не целесообразно, так как снижается экономическая эффективность способа, увеличиваются удельные показатели загрязнения окружающей среды газопылевыми компонентами взвешенных веществ, шумовой эффект от проведения взрывов, а также возрастает риск для персонала из-за возможного разлета осколков. В таких случаях широко используются механические способы разрушения, производительность которых, на сегодняшний день, достигает промышленных масштабов. Однако с ростом механической прочности (крепости) пород, энергоёмкость традиционных механических способов увеличивается [4]. Короткий ресурс работы и высокая степень износа рабочих элементов породоразрушающих инструментов, приводящие к необходимости их замены, значительно увеличивают стоимость проведения таких работ.

Электроразрядный способ является одной из альтернативных технологий разрушения горных пород. Способ не имеет негативных последствий, свойственных взрывчатым веществам и более того, позволяет производить разрушение и осуществлять направленный откол без разлета осколков и эвакуации персонала с места проведения работ [3, 6]. Низкая производительность в сравнении с ВВ, препятствует широкому применению электроразрядных установок для проведения работ по отколу горных пород, при этом низкие энергозатраты, безопасность проведения работ, а также возможность регулирования ввода энергии, повышают актуальность их локального применения, например, для разрушения негабаритов. В электроразрядном способе инструментом для откола и разрушения горных пород является расширяющийся плазменный канал, инициируемый электрическим взрывом проводника. Расширение канала разряда сопровождается эффективным преобразованием энергии мощного импульса тока в энергию ударных волн, создающих поле механических напряжений и генерирующих трещины в разрушаемом материале.

Исследование возможностей электроразрядного разрушения активно ведутся в Томском политехническом университете на протяжении последнего десятилетия. За это время были сконструированы и успешно эксплуатировались лабораторные установки ГИТ-25/96, ГИТ 50/24 и ГИТ 25/168, основные параметры которых представлены в таблице 1. На основе многочисленных экспериментов по разрушению бетонных блоков и негабаритов горных пород [7, 8] была получена физико-математическая модель электровзрыва, описывающая динамику ударно-волновых возмущений в твердом теле [2].

Таблица 1

Технические параметры установок для электроразрядного разрушения

Параметр	ГИТ 25/96	ГИТ 50/24	ГИТ 25/168	Мобильная установка
Рабочее напряжение, кВ	25	50	25	15
Ёмкость конденсаторной батареи, мкФ	96	24	168	1120
Запасаемая энергия, кДж	30	30	52,5	126
Количество электродных систем, шт	1	1	до 2	до 4
Рабочая глубина шпуров, см	≤ 30	≤ 30	≤ 50	50-80
Разрушаемый объем за 1 разряд, м ³	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,15	≤ 0,6

Картина разрушения горных пород и сценарий волновой динамики, прежде всего, зависят от вида и параметров генератора, от длины разрядного канала и свойств его плазмы. Накопленный опыт эксплуатации лабораторных установок позволил установить, что для создания оптимальных условий зарождения радиальных трещин, необходимо обеспечить «быстрый» режим ввода энергии в канал разряда т.е. требуется крутой фронт

импульса (0,1-10 мкс), при этом уровень механических напряжений, необходимый для роста трещин гораздо ниже, чем для их инициирования, поэтому для формирования магистральных трещин, необходимо обеспечить длительное выделение энергии ($\geq 200-300$ мкс) [5]. С целью проведения экспериментов в полевых условиях, была создана мобильная установка, предназначенная для производства работ по электроразрядному шпуровому отколу горных пород и искусственных непроводящих материалов, в которой были учтены выше описанные требования. Основные технические характеристики установки представлены в таблице 1. Установка представляет собой генератор импульсных токов (ГИТ), накопитель энергии которого состоит из двух конденсаторных батарей. Конструкция токоведущих шин установки позволяет осуществлять коммутацию батарей на общую нагрузку и раздельную коммутацию, с подключением до четырех электродных систем одновременно.

Для осуществления электроразрядного разрушения, важную роль играет наличие свободной поверхности, которая обеспечивает суперпозицию прямой и отраженной ударных волн, создающих растягивающие тангенциальные напряжения внутри твердого тела. При разрушении крупных кусков горных пород объемом $0,5 \text{ м}^3 - 0,6 \text{ м}^3$ практически любая грань обеспечивает волновые процессы. Для получения наилучшего результата целесообразно подключать весь накопитель энергии к одной электродной системе, что способствует развитию максимальной мощности энерговыделения в 1 канале разряда, позволяя получить высокую объемную плотность энергии. Схема электроразрядного разрушения негабаритов горных пород представлена на рис.1а. Разрушение негабаритов объемом более 1 м^3 и откол от массива горных пород осуществляется поэтапно, как показано на рис.1б. В этом случае разрушение нужно начинать вблизи свободной поверхности, параллельной оси шпуров, при этом подключив две или четыре электродные системы. В отдельных случаях может использоваться схема с так называемым “холостым” шпуром. Это означает, что между основными шпурами, бурится дополнительный шпур, он служит своеобразным концентратором растягивающих напряжений.

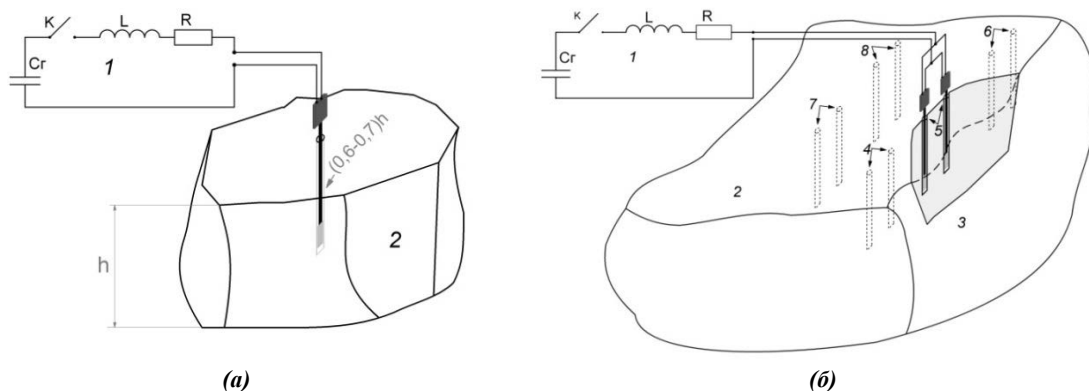


Рис. 1. Схема электроразрядного разрушения горных пород, (а) – разрушение негабаритов, (б) – откол от массива горных пород. 1-ГИТ, 2-разрушаемый объект, 3-свободная поверхность, 4–8-сетка шпуров

Электроразрядный способ является одной из перспективных и экологически чистых технологий разрушения горных пород, которая позволяет производить разрушение и осуществлять направленный откол с относительно низкими удельными энергозатратами, и может применяться там, где механические способы разрушения малоэффективны и дорогостоящи. Экспериментальное исследование возможностей данной технологии на различных электроразрядных установках позволило определить оптимальные параметры электрического импульса для зарождения и роста трещин в твердых непроводящих материалах. На основе данных, полученных экспериментальным путем, составлены рекомендации для производства работ по разрушению негабаритов и отколу от массива горных пород.

Литература

1. Андриенко С.С. Современные проблемы науки и производства в области горного дела, учебное пособие. – Пермь: Издательство Пермского научного исследовательского университета, 2010. – 338 с.
2. Буркин В.В., Кузнецова Н.С., Лопатин В.В. Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79. – № 5. – С. 42 – 48.
3. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород, 2-е издание стер. – М: Издательство Московского государственного университета, 2001. – 453 с.
4. Сёмкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
5. Burkin V.V., Kuznetsova N.S. Lopatin V.V. Dynamics of electro burst in solids: I. Power characteristics of electro burst // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2009. – Vol. 43. – P. 185 – 204.
6. Silva C.M.M., Stellan A., Hennies W.T., Costa E.G. Electrohydraulic Rock Blasting: An Alternative for Mining in Urban Areas // INT. J. MINING ENG. – 2002. – P. 261 – 269.

7. Voitenko N.V., Yudin A.S., Kuznetsova N.S. Evaluation of energy characteristics of high voltage equipment for electro-blasting destruction of rocks and concrete // Journal of Physics: Conf. Series. – 2015. – Vol. 652. – Article number 012011.
8. Yudin A.S., Kuznetsova N.S., Lopatin V.V. and Voitenko N.V. Multi-borehole electro-blast method for concrete monolith splitting off // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – Vol. 552. – Article number 012028.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУММАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНОСТИ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

В.А. Кандинский

Научный руководитель профессор В.И. Удовицкий

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

Гранулометрический состав полезных ископаемых может быть изображен в виде кривых характеристик крупности, как частных, так и суммарных. Для углей характеристику чаще строят по «плюсу», в этом случае по оси ординат откладывают суммарные значения выходов всех классов крупности, которые больше данного размера сита. Суммарные характеристики можно строить и по «минусу». Тогда суммарные выходы классов показывают количество материала, который меньше заданного размера сита.

Гранулометрические характеристики могут быть представлены в аналитической форме. Многими исследователями установлено, что характер распределения зерен по крупности дает возможность предполагать о закономерности такого распределения, несмотря на различие в физических свойствах полезных ископаемых.

В монографии [3] наиболее полно представлен обзор результатов исследований, связанных с закономерностями распределения частиц по классам крупности в продуктах дробления и измельчения.

Аналитическую зависимость между крупностью зерен продукта и их выходом первым предложил в 1916 г. А.О. Гейтс [3, 6], который обнаружил, что кумулятивные характеристики продуктов имеют вид гипербола. Это позволило описать закономерности измельчения в виде уравнения

$$y^{a_0} = a_1 x, \quad (1)$$

где y – суммарный остаток на сите; x – размер зерна; a_0, a_1 – здесь и далее параметры функции.

А.М. Годэн [3, 7], исследовав большое количество экспериментальных данных гранулометрического состава продуктов дробления и измельчения, в 1926 г. получил графики характеристик, описываемых функцией

$$y = a_0 x^{a_1}, \quad (2)$$

где y – выход класса по массе; x – размер отверстия сита, на котором остаются зерна данного класса

С.Е. Андреев [1] применил уравнение Годэна для прогнозирования массовой кумулятивной характеристики по «минусу». В дальнейшем функцию (2) стали именовать уравнением Годэна-Андреева.

П. Розин и Е. Раммлер [3, 9] (1932 г.) изучали ситовый состав продуктов измельчения и строили их кривые распределения. Анализируя данные своих опытов, П. Розин и Е. Раммлер заметили, что в системе координат $\ln(\ln(100/y))$, $\ln(x)$ большинство опытных точек ложится на одну прямую, уравнение которой имеет вид $\ln(\ln(100/y)) = \ln(a_0) + a_1 \cdot \ln(x)$, откуда

$$y = 100 / \exp(a_0 \cdot x^{a_1}), \quad (3)$$

где y – суммарный остаток на сите, %; x – размер отверстия сита, мм.

П. Роллер [3, 8] (1941 г.) предложил выражать зависимость массовых выходов от крупности частиц в виде формулы

$$y = \frac{a_0 \sqrt{x}}{\exp(a_1 / x)}, \quad (4)$$

где y – массовый кумулятивный выход продукта по «минусу».

Н. К. Белоглазов [3, 2] (1956 г.) путем преобразования уравнения Розина-Раммлера (3) получил уравнение характеристики крупности продуктов измельчения мономинеральных руд по «минусу»

$$y = 2a_0 x^{a_1} / (1 + a_0 x^{a_1}), \quad (5)$$

где x – крупность частиц продукта, y – массовый кумулятивный выход по «минусу».

А. М. Погосов [3, 5] (1960 г.) пытался расширить диапазон фактической крупности материала, описываемого уравнением Белоглазова (5), за счет замены коэффициента «2» на «1». Предложенная им формула

$$y = 1a_0 x^{a_1} / (1 + a_0 x^{a_1}), \quad (6)$$

где x – крупность частиц продукта; y – суммарный выход по «минусу».

Известно также применение уравнения Шуманна [10]

$$y = (x / a_0)^{-1}, \quad (7)$$

где y – суммарный выход продукта, размером меньше диаметра отверстий сита x .

В данной работе для решения задачи по определению лучших функций первой степени, аппроксимирующих суммарные характеристики крупности каменных углей Кузнецкого бассейна, экспериментальные значения выходов классов взяты из работы [4]. Количество классов крупности шахтопластов